

不均質震源モデル A heterogeneous source model

○関口春子

○Haruko SEKIGUCHI

A heterogeneous SMGA (Strong Motion Generation Area) model was constructed inspired by the area-stress drop relationship of SMGA of plate boundary earthquakes. The relationship shows large scatter for small SMGAs and small scatter for large SMGAs. The relationship was well modeled by adopting k^{-1} spatial spectrum and lognormal probability distribution for the stress drop distribution, and tuning the parameters of those distributions. This model may make it possible to predict the strong short-period pulse amongst the SMGA pulse.

1. 強震動生成域

強震動（構造物等の被害の原因となる 0.1~10. Hz の周波数帯の強い揺れ）は、震源断層面上にいくつもの塊になって生じる強震動生成域 (SMGA) がその主たる発生源である。強震動生成域は、その面積や応力降下量が、強震動パルスの強さや卓越周期を決める重要なパラメータであり、統計的見地から規則性が追求されている。面積にはスケールリング則が見いだされ、応力降下量は平均的な値がまとめられている (Miyake *et al.*, 2003)。

SMGA 内部のパラメータの不均質構造については、解析の際により高周波の分解能が必要となるため、あまり良く調べられていない。もし SMGA 内部の破壊がなめらかに進めば、SMGA 波の短周期成分にはストップングフェーズが卓越すると考えられるが、観測波形はそのような性質を示さないので、SMGA 内部の破壊過程は複雑であると推定される。また、SMGA に対応すると考えられる場所で、特に強い短周期パルスを発生する小領域が、1978 年宮城県沖地震 (松島・川瀬, 2006) や、2011 年東北地方太平洋沖地震 (野津, 2012 ; Kurahashi and Irikura, 2013) で見つかっている。

地震が大きくなるほど SMGA の面積は大きく、面積に起因する卓越周期が長くなる。それとともに、SMGA の卓越周期以下の、構造物被害に重要な周期帯の幅が広がるが、この周期帯の地震波の生成は SMGA 内部の破壊の不均質性に大きく左右される。また、前述の強い短周期パルスがどのような強さや卓越周期を持ち、どのような確率で発生しうるのかを推測することは重要である。

2. SMGA の場の応力降下量分布のモデル化

岩田・他 (2016) では、SMGA の場の不均質構造の特徴を調べ、モデル化を行った。

プレート境界型地震について、SMGA を求めた研究を収集し、SMGA の面積と応力降下量の関係を調べたところ、面積の小さい SMGA では応力降下量のばらつきが大きく、面積が大きくなると変動が小さくなることがわかった (図 1 左)。これは、強震動生成する場の不均質性を示している可能性があると考えられる。つまり、微視的には不均質が強く、巨視的には弱いという不均質性が推定できる。

そこで、不均質応力場を設定し、その任意の面積が破壊して地震の SMGA になると仮定して、SMGA の面積-応力降下量の関係を再現するようなモデル化手法を検討した。応力降下量の不均質分布は、空間的には、 k^{-1} の波数スペクトル形状を持つフラクタル分布を仮定し、確率分布には対数正規分布を仮定した。応力降下量分布の k^{-1} 波数スペクトル分布は、地震発生の際は自己相似な不均質性を持つという推測のもと、ブロードバンドで複雑な観測波形を再現するものとして提案されてきたものであり (Frankel, 1991; Herrero and Bernard, 1994 など)、波形インバージョンで得られるすべり分布の k^2 分布 (Somerville *et al.*, 1999; Mai and Beroza, 2002) と対応している。確率分布が対数正規分布というのは、すべり量の確率分布から推定されている (Gusev, 2011)。

応力降下量の不均質分布のモデルは、このような仮定で、その k^{-1} 分布のコーナー波数、および、対数正規分布の形状 (平均や分散に当たるもの) を変えて生成した。その応力降下量分布モデルか

ら、様々な面積を切り出してその内部の平均応力降下量を計算し、面積—平均応力降下量の分布を得、これがプレート境界型地震の SMGA の面積—応力降下量の間係を模すようにパラメータを調節した。こうして得られた応力降下量の不均質分布の例を図 2 に、再現された面積—応力降下量の間係を図 1 右に示す。

3. SMGA 不均質応力降下量分布モデルの検証

2011 年東北地方太平洋沖地震では、4~5 個の SMGA が求められ (Asano and Iwata, 2012 など)、うち宮城沖の破壊開始点付近の 2 つの SMGA 内部には、強い短周期パルスを生ずる小領域が見つかっている (Kurahashi and Irikura, 2013)。今後、これらの SMGA をターゲットに、前項の SMGA 不均質応力降下量分布モデルを作成、地震波形を合成し、観測された地震動の特徴と比べて妥当性を検討したいと考えている。その際、応力降下量以外のパラメータの不均質をいかに設定するかが重要であり、その検討も合わせて実施する。

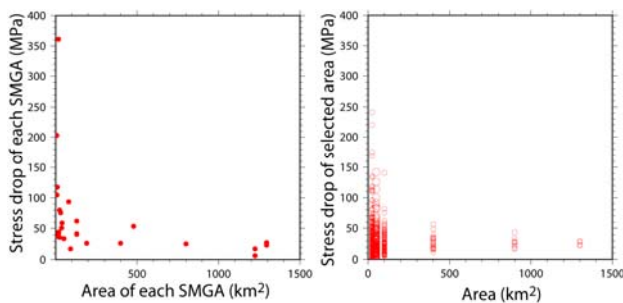


図 1 左) プレート境界地震の個々の SMGA の面積とその応力降下量の間係。右) 図 2 の応力降下量分布モデルで、任意に抽出された矩形の面積とその平均応力降下量の間係。

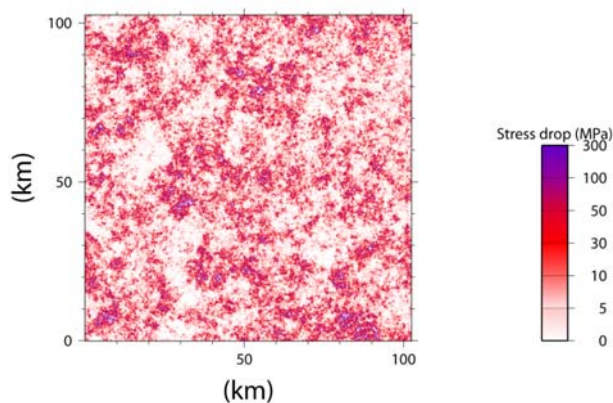


図 2 プレート境界型地震の SMGA の面積と応力降下量の間係を再現するようにモデル化した、SMGA になり得る場の応力降下量分布

- Asano, K. and T. Iwata, Source model for strong ground motion generation in the frequency range 0.1-10 Hz during the 2011 Tohoku earthquake, *Earth Planets Space*, **64**, 1111-1123, 2012.
- Frankel, A., High-frequency spectral falloff of earthquakes, fractal dimension of complex rupture, b value and the scaling of strength on faults, *J. Geophys. Res.*, **96**(B4), 6291-6302, 1991.
- Gusev, A., Broadband kinematic stochastic simulation of an earthquake source: a refined procedure for application in seismic hazard studies, *Pure Appl. Geophys.*, **168**, 155-200, 2011.
- Herrero, A. and P. Bernard, A kinematic self-similar rupture process for earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.* **84**, 1216-1228, 1994.
- 岩田知孝・関口春子・浅野公之, 強震動予測のための巨大地震震源モデルの構築, 「震源モデル構築・シナリオ研究」, 南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト平成 27 年度成果報告書, 2016.
- Kurahashi, S. and K. Irikura, Short-period source model of the 2011 Mw 9.0 Off the Pacific coast of Tohoku earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **103**(2B), 1373-1393, 2013.
- Mai, P.M. and G. Beroza, A spatial random field model to characterize complexity in earthquake slip, *J. Geophys. Res.*, **107**(B22), DOI: 10.1029/2001JB000588, 2002.
- 松島信一・川瀬博, 海溝性地震におけるスーパーアスペリティモデルの提案, *月刊地球*, 号外 **55**, 98-102, 2006.
- Miyake, H., T. Iwata, and K. Irikura : Source characterization for broadband ground-motion simulation, Kinematic heterogeneous source model and strong motion generation area, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.93, pp.2531-2545. 2003.
- 野津厚, 2011 年東北地方太平洋沖地震を対象としたスーパーアスペリティモデルの提案, *日本地震工学会論文集*, **12**, 21-40, 2012.
- Somerville, P.G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, and A. Kowada: Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, *Seism. Res. Lett.*, **70**, 59-80, 1999.